

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

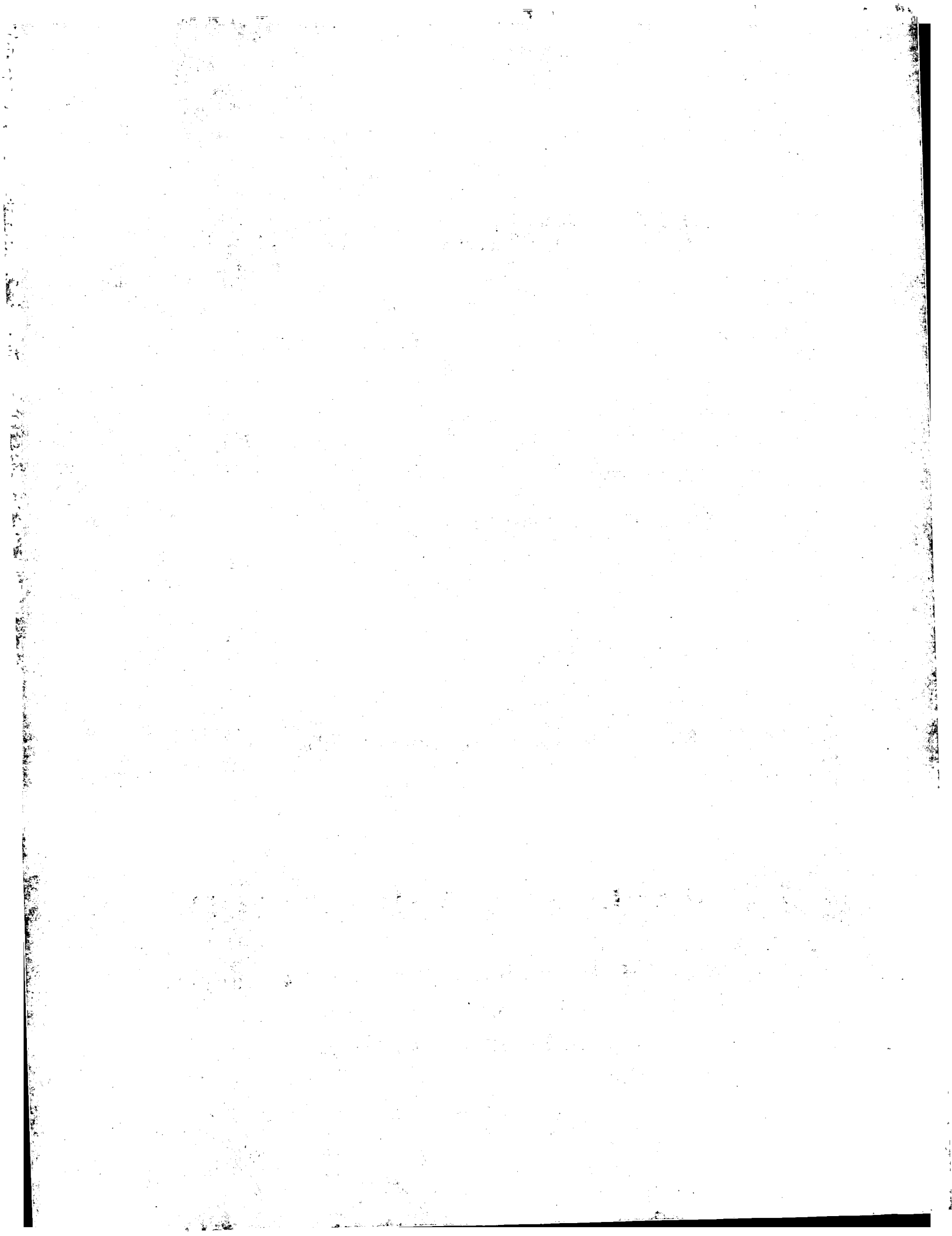
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**





**Eur päisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03001803.0

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Anmeldung Nr:
Application no.: 03001803.0
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 28.01.03
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Polytec GmbH
Polytecplatz 1-7
76337 Waldbronn
ALLEMAGNE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Optischer Aufbau zum Aufsetzen auf ein Mikroskop für die Vermessung von
periodischen Bewegungen einer Mikrostruktur

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G01J/

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT SE SI SK TR LI

THIS PAGE BLANK (USPTO)

LEMCKE · BROMMER & PARTNER
PATENTANWÄLTE
BISMARCKSTR. 16 · D-76133 KARLSRUHE

27. Januar 2003
19 809 (KA/kw)

Polytec GmbH
Polytec-Platz 1 - 7

76337 Waldbronn

Optischer Aufbau zum Aufsetzen auf ein Mikro-
skop für die Vermessung von periodischen Bewe-
gungen einer Mikrostruktur

LEMOCKE · BROMMER & PARTNER
PATENTANWÄLTE
BISMARCKSTR. 16 · D-76133 KARLSRUHE

27. Januar 2003

19 809 (KA/kw)

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen optischen Aufbau zum Aufsetzen auf ein Mikroskop für die Vermessung von periodischen Bewegungen einer Mikrostruktur.

Insbesondere die miniaturisierten Bauteile in der Mikrosystemtechnik erfordern
5 besondere Messsysteme, wenn die Bewegungen und Freiheitsgrade der einzelnen Elemente des Mikrosystems untersucht und vermessen werden sollen. Ein Mikroskop und eine elektronische Kamera sind hierbei meist unverzichtbar.

Für Bewegungen und Freiheitsgrade von Bauteilen senkrecht zur Objektebene
10 des Mikroskops hat sich die interferometrische Messung mittels eines scannenden Vibrometers bewährt. Entsprechend der Wellenlängen des hierbei verwendeten Lichtes lassen sich kleinste Bewegungen der miniaturisierten Bauteile messen.

15 Bewegungen der Bauteile in der Objektebene des Mikroskops, wie beispielsweise die Rotation eines Mikro-Zahnrades, erfordern eine andere Messmethode. Hierzu wird üblicherweise ein Mikroskop mit einer aufgesetzten elektronischen Kamera verwendet, die eine Reihe von Bildern erzeugt, welche die Bewegung elektronisch auswertbar darstellen. Das besondere Problem bei Mikrostrukturen
20 besteht allerdings darin, dass die Bewegungen der Bauelemente im allgemeinen viel schneller ablaufen (in Frequenzen bis zu 100 MHz), als das kleinste Zeitfenster beträgt, welches die Kamera benötigt, um ein Bild aufnehmen zu können. Um dieses Problem zu lösen, wird ein spezielles Mikroskop verwendet, das mit einer Stroboskoplampe versehen ist. Die Stroboskoplampe sendet Lichtpulse
25 in einer Pulsfrequenz aus, die einer Anregungsfrequenz entspricht, mit der das zu vermessende Bauteil gleichzeitig zu periodischen Bewegungen angeregt wird. Jeder Lichtpuls der Stroboskoplampe trifft also in immer der gleichen Pha-

senlage der periodischen Bewegung auf das Bauteil, so dass die elektronische Kamera ein Bild aufnimmt, das einem Stroboskoppuls entspricht, das j doch in Wirklichkeit aus mehreren aufintegrierten Stroboskoppulsen zusammengesetzt ist. Durch ein Gegeneinander-Verschieben der Phasenlagen der Stroboskoppulse und der Anregungsfrequenz für die Bewegung des zu vermessenden Bauteils
5 kann dann von der elektronischen Kamera das nächste Bild des Bewegungsablaufs aufgenommen werden. Im Ergebnis führt dies zu Bilddaten, die den Bewegungsablauf des zu vermessenden Bauteils darstellen.

10 Während bereits scannende Vibrometer erhältlich sind, die auf den normierten Kameraanschluss (C-mount) eines handelsüblichen Mikroskops aufgesetzt werden können und so die Vermessung von Bewegungen von Mikrostrukturen senkrecht zur Objektebene auf einfachste Weise ermöglichen, sind zur stroboskopischen Messung der in der Objektebene erfolgenden Bewegungen des Bauteils
15 also spezielle Mikroskope mit Stroboskoplampe notwendig.

Nun sind in den einschlägigen Labors meist schon Mikroskope vorhanden. Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine stroboskopische Erfassung der Bewegung von Mikrostrukturen in der Objektebene des zum Messen ver-
20 wendeten Mikroskops zu ermöglichen, ohne ein speziell ausgebildetes Mikroskop einsetzen oder ein Standardmikroskop modifizieren zu müssen.

Gelöst ist diese Aufgabe durch einen optischen Aufbau mit den Merkmalen des beigefügten Patentanspruchs 1.
25

Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen optischen Aufbaus sind in den Patentansprüchen 2 bis 8 niedergelegt.

Der beigefügte Patentanspruch 9 definiert ein modulares System unter Verwen-
30 dung des optischen Aufbaus nach den Ansprüchen 1 bis 8.

Die Erfindung stellt also einen optischen Aufbau zur Verfügung, der auf den Kameraanschluss des Mikroskops aufgesetzt werden kann und auf der anderen Seite wiederum einen entsprechend ausgebildeten Kameraanschluss aufweist.
35 Gleichzeitig enthält dieser optische Aufbau eine untere Feldlinse und eine ober Feldlinse sowie in zwischen diesen beiden Feldlinsen angeordnetes Abbil-

dungs-Linsensystem. Diese optischen Bauteile sind so dimensioniert und angeordnet, dass das am Kameraanschluss des Mikroskops vorhandene erste Objektbild von unterhalb der unteren Feldlinse im Abbildungsmaßstab 1:1 auf ein zweites Objektbild oberhalb der oberen Feldlinse und somit am oberen Anschluss für eine Kamera abgebildet wird. Es handelt sich beim erfindungsgemäßen optischen Aufbau also um eine Art Zwischenstück, mit dem das von einer elektronischen Kamera aufzunehmende Objektbild ganz einfach weiter nach oben versetzt wird.

10 Gleichzeitig – und dies bewirkt den großen Vorteil der Erfindung gegenüber den bislang üblichen speziell ausgebildeten Mikroskopen – enthält der erfindungsgemäße optische Aufbau in seinem Strahlengang zwischen den beiden Feldlinsen einen Strahlteiler zum Einkoppeln von Lichtpulsen einer Stroboskoplampe. Aufgrund der Erfindung ist es also erstmals möglich, stroboskopische Messungen zur Erfassung von Mikrostrukturbewegungen mit einem handelsüblichen, standardisierten Mikroskop ohne spezielle Anpassungen desselben vorzunehmen. Denn solche Mikroskope sind in aller Regel mit einem normierten C-mount zum Anschluss einer Kamera versehen. Der erfindungsgemäße Aufsatz versetzt also die Schnittstelle zum Ankoppeln einer elektronischen Kamera nach oben und ermöglicht in der hierdurch gewonnenen Strecke des Strahlengangs, Lichtpulse einer Stroboskoplampe einzukoppeln, ohne irgendwelche Veränderungen am Mikroskop selbst vornehmen zu müssen. Gleichwohl wird die volle Funktionalität des Mikroskops gewahrt, da ein (standardisierter) Kameraanschluss auch nach dem Aufsetzen des erfindungsgemäßen optischen Aufbaus vorhanden ist und sowohl für eine elektronische Kamera als auch für ein scannendes Vibrometer oder ähnliches genutzt werden kann.

Besondere Vorteile ergeben sich, wenn die Feldlinsen und das Abbildungs-Linsensystem so dimensioniert und angeordnet sind, dass die Einzelstrahlen der Strahlenbündel eines jeden Bildpunktes des ersten Objektbildes aus dem nach oberhalb der oberen Feldlinse abgebildeten zweiten Objektbild unter den gleichen Winkeln austreten, wie aus dem ersten Objektbild. Hierdurch wird eine Kaskadierung des Systems möglich, und es können zwei oder noch mehr optische Aufbauten nach der Erfindung hintereinander geschaltet werden. Aber auch ohne die Kaskadierungsmöglichkeit ist eine solche Weiterbildung der Erfindung vorteilhaft, da alle weiteren Geräte, die ebenfalls Licht in den Strahlen-

gang einkoppeln, mit derselben Justage verwendet werden können, als wenn sie direkt auf das Mikroskop gesetzt würden.

Vorzugsweise ist der Strahlteiler, der erfindungsgemäß im optischen Aufbau
5 vorhanden ist, so dimensioniert und angeordnet, dass die Lichtpulse der Stroboskoplampe gemäß den Köhlerschen Beleuchtungsregeln in den Auflichtstrahlengang des Mikroskops eingekoppelt werden. Gemäß dieser Beleuchtungsregeln treffen die von einem Punkt der Lichtquelle ausgehenden divergierenden Einzelstrahlen immer parallel auf der Objektebene auf, so dass sich eine sehr
10 gleichmäßige Beleuchtung des Objektfeldes selbst dann ergibt, wenn die Lichtquelle ungleichmäßig flächig abstrahlt.

Vorzugsweise ist die Stroboskoplampe selbst Teil des optischen Aufbaus. Hierdurch ergibt sich dann eine feste räumliche Zuordnung der Stroboskoplampe
15 zum Strahlteiler. Somit entfällt jedwede Justierarbeit beim Einkoppeln des Stroboskoplichts über den Strahlteiler in den Auflichtstrahlengang des Mikroskops.

Die Stroboskoplampe ist vorzugsweise eine LED mit einem Öffnungswinkel θ und mit einer Leuchtfläche eines Durchmessers d , bei der für den Öffnungswinkel und den Durchmesser der Leuchtfläche die Beziehung: $d \cdot \theta < 0,5$ entspricht,
20 wobei d in mm und θ in rad einzusetzen sind. Weiter bevorzugt weist die LED eine optische Leistung von mehr als 10 mW auf. Diese Randbedingungen haben sich als optimal herausgestellt, um den erfindungsgemäßen Erfolg zu erzielen.

25 Das Abbildungs-Linsensystem ist vorzugsweise ein zusammengesetztes System, das eine aberrationsfreie Abbildung gewährleistet. Solchen Linsensysteme sind an sich bekannt.

Bevorzugterweise ist der erfindungsgemäße optische Aufbau so ausgebildet,
30 dass das erste Objektbild ohne Vignettierung auf das zweite Objektbild abgebildet wird. Dies gewährleistet ein Maximum an Lichtausbeute, Abbildungsschärfe und Kaskadierbarkeit.

Das erfindungsgemäße Lösungsprinzip ist weiterhin verkörpert in einem modularen System zur Vermessung von periodischen Bewegungen einer Mikrostruktur,
35

die neben einem Mikroskop, welches mit einem normierten Kameraanschluss versehen ist, auch eine Stroboskoplampe, eine elektronische Kamera und ein scannendes Vibrometer aufweist, während erfindungsgemäß außerdem ein optischer Aufbau vorhanden ist, wie er oben beschrieben wurde. Der optische Aufbau kann dann anstatt der Kamera an den Kameraanschluss des Mikroskops
5 angeschlossen werden. Alternativ kann das scannende Vibrometer auf den Kameraanschluss des Mikroskops aufgesetzt werden, während es aber auch möglich ist, das scannende Vibrometer auf den optischen Aufbau aufzusetzen. Entsprechend kann die elektronische Kamera an den Kameraanschluss des Mikroskops,
10 auf den optischen Aufbau oder auf das scannende Vibrometer aufgesetzt werden. Es versteht sich, dass zu diesem modularen System noch eine Synchronisationselektronik und ein Auswerterechner vorhanden sein sollten, um die stroboskopische Untersuchung durchführen und auswerten zu können.

15 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden an Hand der beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine schematische Darstellung eines Beispiels für einen erfindungsgemäßen optischen Aufbau;
20 Figur 2 eine schematische Darstellung eines Beispiels für ein komplettes Messsystem mit erfindungsgemäßem optischen Aufbau;
Figur 3 eine schematische Darstellung eines Beispiels für ein erfindungsgemäßes modulares System;
Figur 4 eine schematische Darstellung des Standes der Technik.

25

Figur 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen optischen Aufbaus, bestehend aus einer unteren Feldlinse 1, einer oberen Feldlinse 2, einem im Strahlengang 3 derselben liegenden Abbildungs-Linsensystem 4 und einem
30 Strahlteiler 5 zum Einkoppeln der Lichtpulse einer Stroboskoplampe 6 in den Mikroskopstrahlengang. Wie Figur 1 verdeutlicht, wird durch den erfindungsgemäßen optischen Aufbau ein erstes Objektbild 7 nach oberhalb der oberen Feldlinse 2 auf ein zweites Objektbild 8 abgebildet. Die Besonderheit des hier gezeigten Ausführungsbeispiels liegt darin, dass die Einzelstrahlen der Strahlenbündel eines
35 j den Bildpunktes des ersten Objektbilds 7 aus dem zweiten Objektbild 8 unter den gleichen Winkeln θ , ϕ austraten, wie aus dem ersten Ob-

Objektbild 7 selbst. Das Abbildungs-Linsensystem 4 ist nach diesem Ausführungsbeispiel ein aberrationskorrigiertes Linsensystem zur 1:1-Abbildung.

Figur 2 zeigt in einer ähnlich schematischen Darstellung, wie der erfindungsgemäße optische Aufbau zusammen mit den anderen Bauteilen der Messvorrichtung zusammenwirkt. Im Bereich der unteren Feldlinse 1 ist wiederum das erste Objektbild 7 angedeutet, das ein Objekt 9 über ein Mikroskopobjektiv 10 und eine Tubuslinse 11 des Mikroskops darstellt. Der erfindungsgemäße optische Aufbau nun, bestehend aus der unteren Feldlinse 1, der oberen Feldlinse 2, dem Abbildungs-Linsensystem 4 sowie dem Strahlteiler 5 und einer fest eingebauten Stroboskoplampe 6, „verlegt“ das erste Objektbild 7 in eine weiter oben liegende Ebene auf das zweite Objektbild 8 oberhalb der oberen Feldlinse 2. Dieses zweite Objektbild 8 wird von einer elektronischen Kamera 12 an einem Normanschluss (C-mount) detektiert und kann somit elektronisch ausgewertet werden.

Figur 3 zeigt ein modulares System mit dem beschriebenen optischen Aufbau gemäß der Erfindung, mit einer unteren Feldlinse 1, einer oberen Feldlinse 2, einem Abbildungs-Linsensystem 4, einem Strahlteiler 5 und einer Stroboskoplampe 6, während das handelsübliche Mikroskop – hier dargestellt lediglich das Mikroskopobjektiv 10 und die Tubuslinse 11 – das Objekt 9 auf das erste Objektbild 7 abbildet. Auch die Kameraanschlussstelle oberhalb der oberen Feldlinse 2, auf die durch die Erfindung nun ein zweites Objektbild projiziert wird, ist mit einem normierten Kameraanschluss versehen, so dass hier ein scannendes Vibrometer 13, und erst auf diesem eine elektronische Kamera 12 aufgesetzt sind.

Figur 4 schließlich zeigt ein Aufbau nach dem Stand der Technik. Deutlich zu sehen ist, dass das Licht der Stroboskoplampe 6 zwischen dem Mikroskopobjektiv 10 und der Tubuslinse 11 über einen Strahlteiler 5 eingekoppelt wird. Dies erfordert eine feste Zuordnung und Einbindung der Stroboskoplampe 6 in das Mikroskop, das hierdurch eine teure Sonderanfertigung wird, da die Beleuchtungsanschlüsse herstellerspezifisch ausgebildet sind.

LEMCKE · BROMMER & PARTNER
PATENTANWÄLTE

BISMARCKSTR. 16 · D-76133 KARLSRUHE

27. Januar 2003

19 809 (KA/kw)

Bezugszeichenliste

- 1 Feldlinse (untere)
- 2 Feldlinse (obere)
- 3 Strahlengang
- 4 Abbildungs-Linsensystem
- 5 5 Strahlteiler
- 6 Stroboskoplampe
- 7 Objektbild (erstes)
- 8 Objektbild (zweites)
- 9 Objekt
- 10 10 Mikroskopobjektiv
- 11 Tubuslinse
- 12 Kamera
- 13 scannendes Vibrometer

LEMCKE · BROMMER & PARTNER
PATENTANWÄLTE
BISMARCKSTR. 16 · D-76133 KARLSRUHE

27. Januar 2003

19 809 (KA/kw)

Patentansprüche

1. Optischer Aufbau zum Aufsetzen auf ein Mikroskop für die Vermessung von periodischen Bewegungen einer Mikrostruktur, mit einer unteren Feldlinse (1) und einer oberen Feldlinse (2), mit einem zwischen den beiden Feldlinsen (1, 2) in deren Strahlengang (3) angeordneten Abbildungs-Linsensystem (4) und mit einem zwischen den beiden Feldlinsen (1, 2) angeordneten Strahlteiler (5) zum Einkoppeln von Lichtpulsen einer Stroboskoplampe (6) in den Strahlengang (3), wobei der optische Aufbau im Bereich der unteren Feldlinse (1) für das Aufsetzen auf einen Kameraanschluss des Mikroskops angepasst ist, wobei die Feldlinsen (1, 2) und das Abbildungs-Linsensystem (4) so dimensioniert und angeordnet sind, dass das am Kameraanschluss des Mikroskops vorhandene erste Objektbild (7) von unterhalb der unteren Feldlinse (1) nach oberhalb der oberen Feldlinse (2) auf ein zweites Objektbild (8) abgebildet wird, und wobei der optische Aufbau im Bereich der oberen Feldlinse (2) für das Anschließen einer Kamera (12) oder dergleichen dem Kameraanschluss des Mikroskops entsprechend ausgebildet ist.
2. Optischer Aufbau nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Feldlinsen (1, 2) und das Abbildungs-Linsensystem (4) so dimensioniert und angeordnet sind, dass die Einzelstrahlen der Strahlenbündel eines jeden Bildpunktes des ersten Objektbildes (7) aus dem nach oberhalb der oberen Feldlinse (2) abgebildeten zweiten

Objektbild (8) unter den gleichen Winkeln austreten, wie aus dem ersten Objektbild (7).

- 5 3. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Strahlteiler (5) so dimensioniert und angeordnet ist, dass die
Lichtpulse der Stroboskoplampe (6) gemäß den Köhlerschen
Beleuchtungsregeln in den Auflichtstrahlengang des Mikroskops
eingekoppelt werden.
- 10 4. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stroboskoplampe (6) Teil des optischen Aufbaus ist.
- 15 5. Optischer Aufbau nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stroboskoplampe (6) eine LED mit einem Öffnungswinkel θ und
mit einer Leuchtfläche mit einem Durchmesser d ist, für welche die
Beziehung: $d \cdot \theta < 0,5$ gilt, wobei d in mm und θ in rad einzusetzen sind.
- 20 6. Optischer Aufbau nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die LED eine optische Leistung von mehr als 10 mW aufweist.
- 25 7. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Abbildungs-Linsensystem (4) für eine aberrationsfreie Abbildung
ausgebildet ist.
- 30 8. Optischer Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Feldlinsen (1, 2) des Abbildungs-Linsensystems (4) so
dimensioniert und angeordnet sind, dass das erste Objektbild (7) ohne
Vignettierung auf das zweite Objektbild (8) abgebildet wird.
- 35

9. Modular s System zur Vermessung von periodischen Bewegungen einer Mikrostruktur,

mit einem Mikroskop, das mit einem normierten Kameraanschluss versehen ist,

5 mit einer Stroboskoplampe (6),

mit einem optischen Aufbau nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

mit einem scannenden Vibrometer (13) zum Aufsetzen auf den Kameraanschluss des Mikroskops oder auf den optischen Aufbau,

10 und mit einer elektronischen Kamera (12) zum Anschließen an den Kameraanschluss des Mikroskops, auf den optischen Aufbau oder auf das scannende Vibrometer (13).

LEMCKE · BROMMER & PARTNER
PATENTANWÄLTE
BISMARCKSTR. 16 · D-76133 KARLSRUHE

27. Januar 2003

19 809 (KA/kw)

Zusammenfassung

Es wird ein optischer Aufbau zum Aufsetzen auf ein Mikroskop zur Vermessung von Mikrostrukturen vorgeschlagen, der ein erstes Objektbild 7 auf ein oberhalb des optischen Aufbaus liegendes zweites Objektbild 8 abbildet und hierdurch das an einer normierten Schnittstelle für eine Kamera 12 vorhandene Objektbild
5 sowie die Schnittstelle für die Kamera selbst nach oben versetzt. Der optische Aufbau gestattet, über einen Strahlteiler 5 eine Stroboskoplampe 6 in den Auflichtstrahlengang des Mikroskops einzukoppeln, ohne irgendwelche baulichen Veränderungen am Mikroskop vornehmen zu müssen. Es wird vielmehr einfach der erfindungsgemäße optische Aufbau auf den C-mount des Mikroskops ge-
10 setzt. Die Erfindung ermöglicht die Verwendung von Stroboskoplampen bei handelsüblichen Mikroskopen, die ansonsten nicht für stroboskopische Untersuchungen geeignet sind.

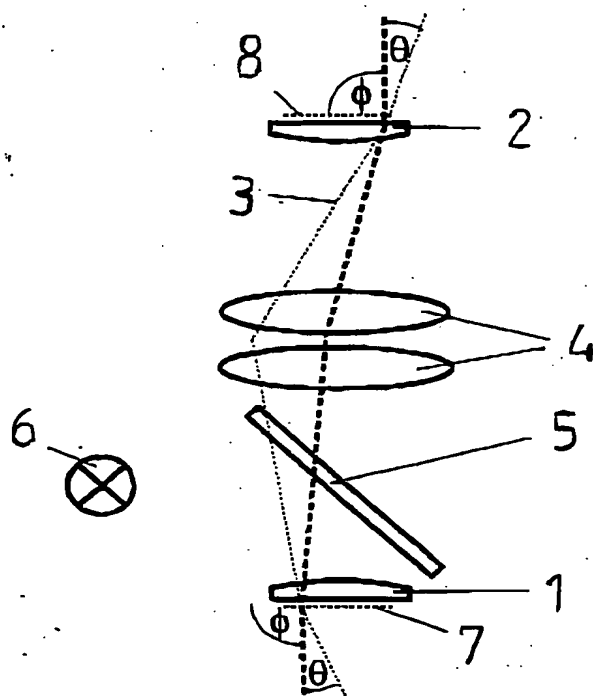


Fig. 1

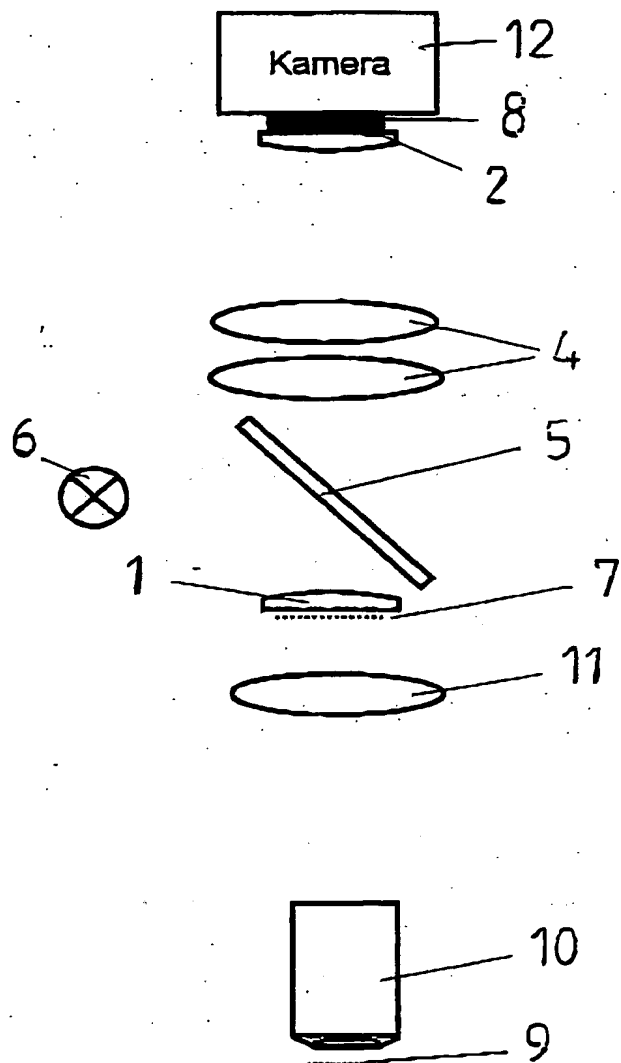


Fig. 2

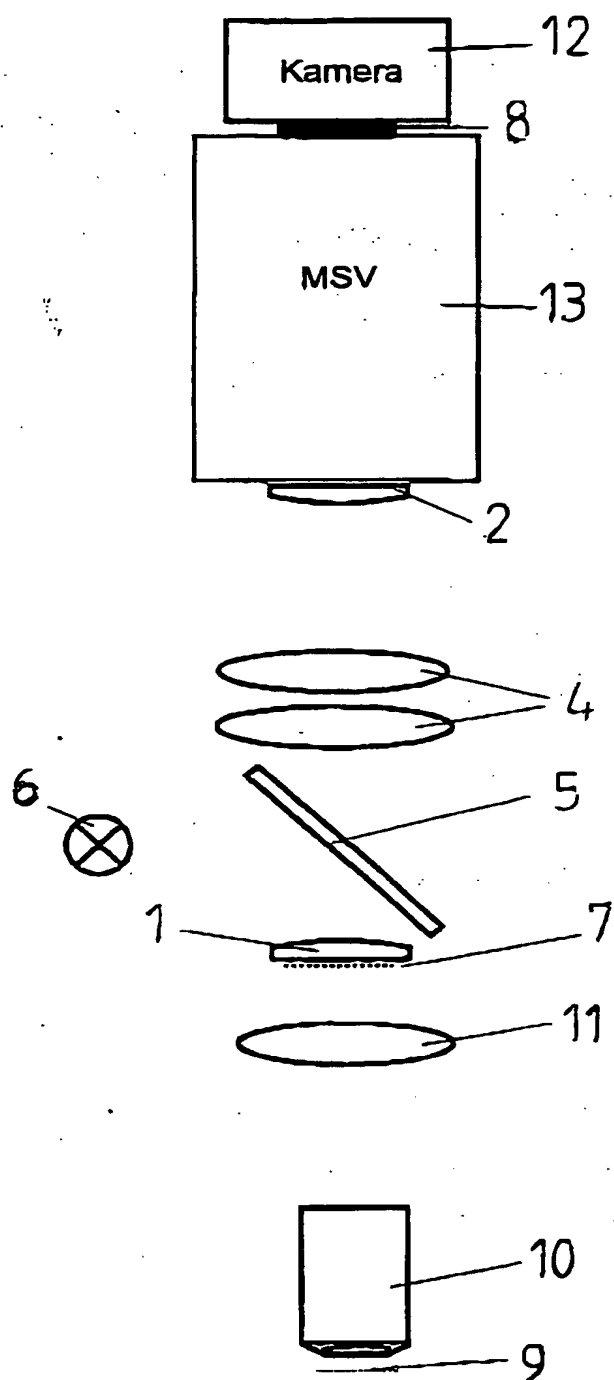


Fig.3

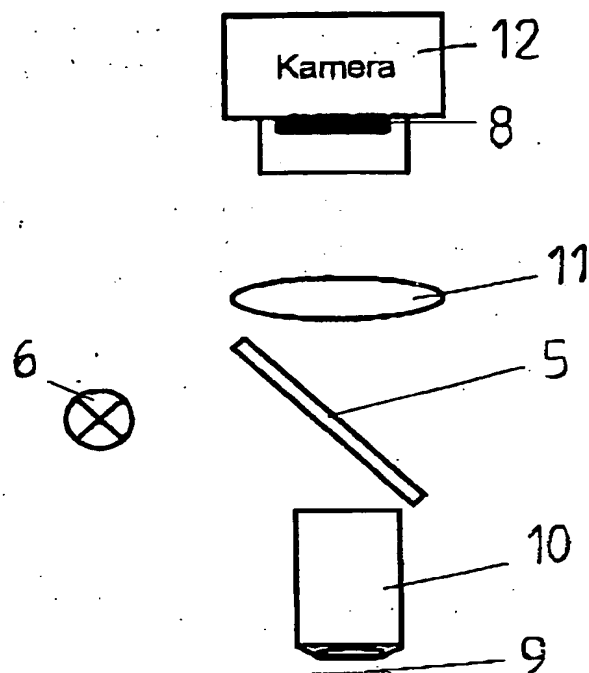


Fig. 4

Stand der Technik